



急速充電対応型電池推進船の開発

らいちょう

清水悦郎

本稿では、環境負荷低減、地球温暖化防止を目的に開発した、基本的には搭載した電池に蓄えられたエネルギーによって航行する電池推進船の開発動向、特に電気自動車に対する急速充電方式である CHAdeMO 方式に対応した、電気自動車と同じ急速充電器を用いて充電できる電池推進船を紹介する。これまでに開発してきたプロペラで推進する電池推進船、ウォータージェットで推進する電池推進船のほか、電池のエネルギー密度は液体燃料と比較して非常に小さいため航続可能距離の延長を目的にシリーズハイブリッド化した電池推進船に関して紹介する。

キーワード：電池推進船、急速充電、CHAdeMO 方式、リチウムイオン電池、ウォータージェット、シリーズハイブリッド、運航支援システム

1. はじめに

2015年12月第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)において、1997年第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)にて採択された京都議定書(Kyoto Protocol)に変わる新たな協定、パリ協定(Paris Agreement)が採択された。パリ協定は、途上国を含むすべての国が参加する協定で、産業革命前からの気温上昇を2度より十分に低く抑える目標を掲げたうえ、さらに1.5度以内とより厳しい水準へ努力するとしている¹⁾。陸上のことばかりに目が行きがちであるが、排出ガスの排出量増加にともない海水温の上昇ならびに海の酸性化、水質の悪化も急速に進んでおり、排出ガスの排出量削減ならびに地球環境保護対策は地球規模において喫緊の課題である。

排出ガス排出量削減のためには、エネルギーを使用すること自体を少なくする、エネルギーを使うとしてもより効率よく使用する、さらには排出ガスを排出しないエネルギーすなわち再生可能エネルギーを利用する等の対策が必要である。再生可能エネルギーとは、「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」によって「太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができる」と認められるものとして政令で定めるものをいう」と定義されており、同法律施行令によって、①太陽光、②風力、③水力、④地熱、⑤太陽熱、

⑥大気中の熱その他の自然界に存する熱(前二号掲げるものを除く)、⑦バイオマスと規定されている²⁾。再生可能エネルギーの利用という観点から考えると、

①熱量をそのまま用いる熱エネルギー

②発電機を組み合わせた電気エネルギー

としての利用を考えている場合がほとんどであり、自動車や船舶等の移動体での利用に絞ると電池等にエネルギーを蓄えさせることが可能な電気エネルギーとして使用することとなる。

本稿では、上記で述べたような社会情勢に対応する手法の一つとして、電池に蓄えられたエネルギーによって航行する電池推進船、特に著者らが開発を行っている電気自動車に対する急速充電方式である CHAdeMO 方式に対応した、すなわち電気自動車と同じ急速充電器を用いて充電できる電池推進船を紹介する。

2. 急速充電対応型電池推進船

(1) 急速充電対応型電池推進船開発の経緯

2009年、急速充電に対応したリチウムイオン電池を搭載した電気自動車の市販が開始された³⁾。これは、リチウムイオン電池はそれまでの蓄電池と比較して、容量が大きい、メモリー効果がない、急速充電が可能、使用温度範囲が広い等の特徴があり、この電池を利用することが出来るようになったことと、家庭用電源のほか、CHAdeMO方式という最大50kW(将来的には100kW)の電力を供給して搭載しているリ

チウムイオン電池を急速に充電する方式に対応した充電器が実用化されたことによるものであった。電池に蓄えられるエネルギー量、すなわち蓄電容量は単純に「供給電力×時間」であるので（実際には充電ロスがあるため蓄電容量は少なくなる）、大きな電力を供給できれば充電時間を短くすることが可能であり、家庭用電源 100V10A で充電する場合と比較して 50 倍の速さで充電することが可能となった。CHAdemo 方式とは、電気自動車向け急速充電器の仕様で、他の規格（米コンボ、独コンボ、中国 GB/T 規格）と共に IEC で国際規格に認定されている方式であり、日本国内だけでなく世界中で一万台以上、CHAdemo 方式の急速充電器が設置されている⁴⁾。

電気自動車の市販化を受け東京海洋大学にて開発を開始したのが急速充電対応型電池推進船である。自動車に対しては厳しい排出ガス規制の下、環境負荷低減技術の開発が活発に進められていたが、船舶の世界では大型船に対しては国際海事機関（International Maritime Organization, IMO）を中心に排出ガス規制が検討・実施されてはいるが、小型船舶に対しての世界的な規制は検討・実施されておらず個別の湖沼等で規制が実施されている状況である。小型船舶の中には排出ガスを水中に排出しているものもあるため、水中環境保護の観点から低環境負荷となる船舶の開発は急務である。そこで、船舶と比較して市場規模が格段に大きく、かつ、開発スピードが速い電気自動車と同じ蓄電池や充電システムを利用することによって、コスト削減、開発期間短縮ならびに充電時間短縮を実現しつつ環境負荷低減を実現する船舶を目指して、急速充電対応型電池推進船の開発を開始した。

(2) 急速充電対応型電池推進船の特徴

電池推進船とは、電池に蓄えられた電力によって電動機を駆動し、電動機の発生した動力によって推進機を駆動し航行する船舶である。大型客船や砕氷船等を代表に電気推進船も多数導入されているが、一般の電気推進船は推進用には電池を搭載しておらずディーゼル発電機を搭載し船内で発電して電動機を駆動する方式となっている。よって一般の電気推進船と区別するために、電池に蓄えられた電力によって航行する船舶に対して電池推進船という名称を使用している。なお通常の船舶では、ガソリンや軽油を燃料として内燃機関を駆動し動力を得ており、この内燃機関が発生する動力によって航行する船舶と比較した場合の電池推進船の利点を挙げると以下の通りである。

①航行時に排出ガスを排出しない

- ②騒音や振動が小さい
- ③制御性が良い
- ④暖機運転やアイドル運転が不要
- ⑤メンテナンスが容易

一番の利点は、開発目的の通りであるが、航行時に排出ガスを排出しないということである。このことは環境保護という観点からだけでなく、人間にとっても排出ガスの臭いから解放されることになり船内の快適性向上につながる。もちろん電池に蓄えるための電気を発電させる際に排出ガスを排出してしまう場合があるが、発電する場所が決まっていれば対策は比較的容易であり、さらに再生可能エネルギーによる発電を利用できれば排出ガスゼロが実現可能である。また、爆発という燃焼行程が避けられない往復動機関である内燃機関に対して、基本的には磁石とコイルからなり電磁気学的に動作する電動機の発生する騒音や振動は格段に小さく、電動機は正転・逆転の切り替えも容易で制御性が良い。構成する素材に対する熱の問題や停止状態から動力が得られるようになるまでの応答時間が長いという問題を抱える内燃機関では暖機運転やアイドル運転が欠かせないが電動機では不要である。内燃機関を適切に運用するためには燃料油以外に潤滑油も必要であり、燃料油補給以外に潤滑油も定期的に交換する必要があるが、この点に関しても電動機は考慮する必要がなくメンテナンスが容易である。

一方、電池推進船にも欠点がある。電池としては大容量であるリチウムイオン電池でも、ガソリンや軽油と比較して 50 分の 1 程度の体積エネルギー密度しかないというエネルギー貯蔵量の少なさである。これは内燃機関の効率を 40% 程度としても 20 分の 1 のエネルギー貯蔵量である。自動車の場合、加速時や上り坂走行時には多くのエネルギーを必要とするが、一定速度での巡行時にはそれほど多くのエネルギーを必要とせず、減速時や下り坂走行時はエネルギーを消費せず、逆に電池を充電しながら走行することが可能である。このため電気自動車では搭載している蓄電池容量とモータ出力に対して航続可能距離が長い表記となっている。これに対して、船舶の場合は船体の周りが水で覆われており常に抵抗を受けている状況、すなわち自動車の上り坂走行時と同じような状況であるため、航行するためには常に多くのエネルギーを必要とし航続可能距離は短くなってしまふ。ただし、船速と供給するエネルギーとの間には三乗に比例するという関係があるため、船速を半分にすると必要となるエネルギーは八分の一で済み、結果的に航続可能距離を伸ばすことが可能である。つまり、限界はあるが限られた

エネルギー量であったとしても、エネルギーを適切に利用すると、時間はかかってしまうが電池推進船を目的地に到達させるというような運航が可能となる。このほか、蓄電池容量が増えると充電にも時間がかかってしまう、価格が下がってきたとはいえ高価な電池が相当数必要という問題点もある。

3. 運航中の急速充電対応型電池推進船

(1) 急速充電対応型電池推進船 らいちょう I

“らいちょう I”は2010年に国立大学法人東京海洋大学（以下 海洋大）が開発した電池推進船（写真-1）であり主要目は以下の通りである。

- 全長：10 m
- 全幅：2.3 m
- 全深さ：1.2 m
- 電動機定格出力：45 kW（瞬時最大出力 80 kW）
- 連続定格トルク：88 Nm（瞬時最大トルク 200 Nm）
- インバータ動作保証電圧：DC 230 V - DC 430 V
（定格 350 V）

蓄電池：リチウムイオン電池 26 kWh

電池推進システムは電動機、インバータおよび蓄電池からなるシステムであり、電動機の出力軸にZドライブ機構が接続している。搭載している蓄電池容量から明らかであるが、50 kWを供給できるCHAdeMO方式に対応した急速充電器を用いることによって約30分で満充電となる。

電池推進船の動特性の一例として、航海実験により求めた“らいちょう I”の満載および半載状態における電動機出力と船速の関係を図-1に示す^{5, 6)}。電動機出力5 kWの場合に約5.5 knots（約10.2 km/h）出ているにも関わらず、電動機出力25 kWの場合でも9 knots（約16.7 km/h）弱しか出ていない。これを航続可能距離で考えると電動機出力5 kWの場合に約27.5 mile（約50.9 km, 約5時間）航行可能であるが、電動機出力25 kWの場合は約9 mile（約16.7 km, 約1時間）しか航行することができない。このように電動機出力を抑えることによって航続可能距離を伸ばすことが出来るので、風や潮流等の外乱の影響を考慮した上で、設定した目的地まで到達できる最高出力（速度）に制御する等の機能を実装する運航支援システムの開発を行っている^{5, 6)}。

このほか、近年はマルチコプター型の小型無人飛行体や自動運転自動車の研究開発が盛んであるが、“らいちょう I”にアンテナ高度が十分であれば10 km程度まで通信可能な長距離 Wi-Fi 通信システムを搭載



写真-1 電池推進船 らいちょう I

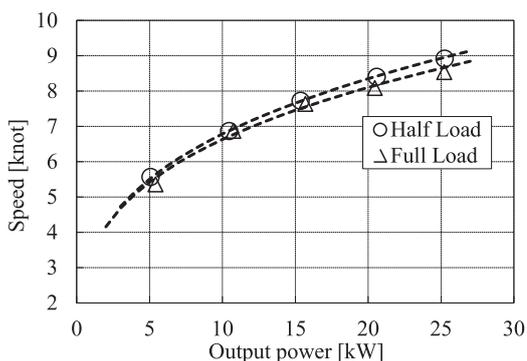


図-1 らいちょう Iの電動機出力と船速の関係

し、遠隔操船にて無人航行を行うための技術に関する研究も実施している。

(2) ウォータージェット推進電池推進船 らいちょう S

“らいちょう S”は2011年に海洋大が開発した電池推進船（写真-2）であり主要目は以下の通りである。電動機、搭載蓄電池容量は“らいちょう I”と同様である。

- 全長：8 m
- 全幅：2.2 m
- 全深さ：0.8 m



写真-2 電池推進船 らいちょう S

“らいちょうS”の最大の特徴は，“らいちょうI”のZドライブ機構による推進とは異なり，吸い込んだ水を高圧で噴出すことによって推進力を得るウォータージェット推進を採用していることである。ウォータージェット推進機は船底にスクリューのような突起物や回転体が存在しないため，水中にダイバーがいるような水域や水面にロープや障害物が浮いているような水域，水深が浅い水域においても航行が可能である。水中からリモコンで操船することも可能である(写真-3)。



写真-3 らいちょうSの水中からの操船の様子

“らいちょうS”は輸送トラックを用いて比較的簡単に輸送できるため，北海道寿都漁港や神奈川県横浜市，長崎県対馬豆酏漁港，沖縄県石垣島等，寒冷な地域や温暖な地域にて運航試験を行い，電池推進船の運航に支障がないことを確認した。さらに船舶が発生する水中音についても検証を行い(図-2)，“らいちょうS”の発生する水中音は1 kHz以下の部分以外はほぼ背景音と同じレベルであり，1 kHz以下の部分についても通常の内燃機関船と比較すると水中音が小さいことを確認した⁷⁾。

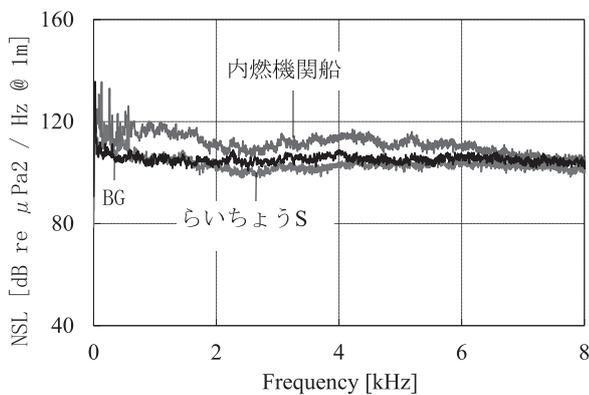


図-2 らいちょうSと内燃機関船が発生させる水中音のワースペクトラム

(3) シリーズハイブリッド電池推進船 らいちょうN

“らいちょうN”は2014年に海洋大が開発した電池推進船(写真-4)であり主要目は以下の通りである。

全長：14 m

全幅：3.5 m

全深さ：2.0 m

電動機定格出力：45 kW (瞬時最大出力 80 kW) × 2

連続定格トルク：88 Nm

(瞬時最大トルク 200 Nm) × 2

インバータ動作保証電圧：DC 230 V - DC 430 V

(定格 350 V)

蓄電池：リチウムイオン電池 145 kWh



写真-4 電池推進船 らいちょうN

“らいちょうN”は，これまでに建造した“らいちょうI”，“らいちょうS”を使用しての研究成果を元に，無人・省人化した定期運航する水上バスをイメージした次世代水上交通システムの研究開発基盤として導入した大型化した電池推進船である。無人・省人化に関する研究を行うために操舵系を含め，操船に必要な機器は全てコンピュータ制御が可能であり，監視カメラも複数台搭載している。これらの機器は船内にWi-Fiや携帯電話などの通信機器を搭載すれば陸上に設置している先端ナビゲートシステムと接続でき，先端ナビゲートシステムからの指示に従って航行することが可能な設計となっている(写真-5)⁸⁾。電池推進システムに関しては大型化に対応するため2組，すなわち“らいちょうI”と同様の電動機，インバータを左右両舷に搭載し，推進機をアウトドライブ方式とした2機2軸システムとなっている。蓄電池容量に関しては両舷あわせて145 kWhに増量しており，電池だけでも船速6 knots (11.1 km/h)程度であれば，5時間以上，55 km程度航行可能である。しかしながら，これでも航続可能距離は既存の内燃機関船と比較して十分とは



写真一5 電池推進船用先端ナビゲートシステム

いえないためシリーズハイブリッド化している。すなわちレンジエクステンダーとして連続定格 34 kW で発電できるディーゼル発電機および 100 L の燃料油タンクを搭載し、航行中にも電池を充電できるようにしている。この結果、海洋大から横浜まで片道約 35 km (羽田空港沖を経由する必要があるため距離が長くなってしまふ) があるが、単独 5 時間程度で往復ができるようになった。現在はディーゼル発電機を搭載しているが、将来的には燃料電池システム等も追加搭載できるように、また、充電用ケーブルを接続すれば他の電池推進船に対しても給電できるようにシステムを設計している。

(4) 電池推進グラスボート ちゅらら

“ちゅらら”は 2014 年に竣工した沖縄県石垣市の川平マリンサービスが保有し、川平湾にて運航する電池推進船(写真一6)である。川平湾は石垣島を代表する風光明媚な観光地の一つであり、石垣市は電池推進船を建造するための補助金を用意するなど、この環境を保護するための活動を積極的に行っている。

電池推進システムは“らいちょう N”の片舷分と同様であるが発電機は搭載しておらず、客室部分の船底



写真一6 電池推進グラスボート ちゅらら

にガラス張りの部分を設け水中観察を出来るようにした石垣島の川平湾の観光船(グラスボート)である。営業運航されているため運航時間が合えば乗船することが可能である。“ちゅらら”の船長によると、排出ガスの臭いがせず、エンジン音も静かで快適な上、電動機はクラッチがないのでクラッチ入り切りの際に発生する音もなく水中の魚等も逃げにくいとのことである。

4. おわりに

本稿では、急速充電対応型電池推進船の開発経緯と現在運航されている CHAdeMO 方式に対応した電池推進船の紹介を行った。このほかに現在運航されている電池推進船としては、充電方式が異なるが主に大阪市内河川で運航している“あまのかわ”や沖縄県石垣港で運航している“vibes one”(ハイブリッド電池推進船)、富山県富岩環水公園で運航している“fugan”などがある⁹⁾。いずれの電池推進船においても、低騒音、低振動であり、ハイブリッド電池推進船に関しても発電機を動作させずに航行すれば電池推進船と同じである。

問題点である蓄電池容量、価格に関しても電池の改良が進められ、より大容量の電池が出てきて価格も下がってきており、さらには燃料電池の開発も進められている。これらの新しい技術が電池推進船にも搭載できるようになれば航行速度や航続可能距離の上限に関しては解決できる問題である。仮に、現在の蓄電池容量のままとしても、養殖漁業における生簀の見回りや警戒船、定期観光船等、比較的短距離である場合や観光船のように多少時間がかかっても良いと乗船者の理解が得られるような場所においては、技術的には十分に電池推進船を導入できるようになっている。充電に必要な電力設備に関しても、最近のマリーナでは停泊中の船舶に対して船内用電力を供給する設備を備えるようになってきているため、充電器設置に関しても大きな工事にならないと考えられる。今後、さらに再生可能エネルギーの導入が進むと考えられ、最初に述べたように再生可能エネルギーを移動体で使用するためには、電池等にエネルギーを蓄えさせることが可能な電気エネルギーとして使用することとなる。2020 年には、オリンピック・パラリンピックが東京で開催されることもあり、環境にやさしい電池推進船は、今後、さらにニーズが高まると考えられるため継続して研究開発を進めているが、やはり理解していただける方が増えなければ導入が進まない。せっかく開発した

船舶であるので、本稿が少しでも電池推進船を体験してみたい、導入してみたい等の関心を持つきっかけとなれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 外務省 HP : http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page18_000435.html
- 2) 電子政府の総合窓口 HP : <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H21/H21SE222.html>
- 3) 三菱自動車工業株式会社 HP : <http://www.mitsubishi-motors.com/jp/>
- 4) CHAdeMO 協議会 HP : <http://www.chademo.com/wp/japan/>
- 5) 清水悦郎, 西村真佐人: 電池推進船用運航支援システム, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第47巻1号, pp.34-37, 2012
- 6) 西村真佐人, 清水悦郎, 大出剛: 出力制限機能付電池推進船用運航支援システムの開発, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第48巻5号, pp.84-89, 2013

- 7) 西村真佐人, 清水悦郎, 他: 電池推進船と内燃機関船の水音の比較, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第48巻4号, pp.137-142, 2013
- 8) 庄司りり: 東京海洋大学海洋工学部 船舶運航支援研究・教育設備 - 先端ナビゲートシステム, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第48巻6号, pp.92-96, 2013
- 9) 神原潤: 小型船の海上交通における技術課題, 2015年日本クルーズ&フェリー学会講演会, <http://www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab15/society/PDF/soukai/2015/part2-01.pdf>, 2015

【筆者紹介】

清水 悦郎 (しみず えつろう)
 国立大学法人 東京海洋大学
 大学院海洋科学技術研究科 海洋工学系
 准教授



橋梁架設工事の積算 ——平成27年度版——

■改訂内容

1. 鋼橋編

- ・ 送出し設備における説明文章, 写真の追加
- ・ 少数桁橋の足場工及び防護工の一部改定
- ・ プレキャストPC床版工, 場所打ちPC床版工の一部改定

2. PC橋編

- ・ 門構移動装置の新規掲載
- ・ ポストテンション桁製作工他, 各工種の適用範囲の明確化
- ・ 横組工 地覆・高欄施工足場の記載
- ・ 緩衝ゴム設置工 新規掲載 ほか

3. 橋梁補修編

- ・ 足場タイプ別詳細作業内容の掲載
- ・ 落橋防止システム工の一部改定

- ・ ストップホール工の新規掲載
- ・ 塗替塗装 素地調整工の改定
- ・ はく離材による塗膜除去作業の注意点の新規掲載

■B5判/本編1,201頁 (カラー写真入り)
 別冊197頁 セット

■定価

一般: 9,720円 (本体9,000円)
 会員: 8,262円 (本体7,650円)

※別冊のみの販売はいたしません。

※送料は会員・一般とも 沖縄県以外600円

注1) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会
 (電話: 098-879-2097) にお申し込み下さい。

■発行 平成27年5月21日

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>